

## ОТЗЫВ

члена диссертационного совета Барабана Александра Петровича на диссертацию Шапенкова Севастьяна Владимировича на тему «Взаимосвязь атомной структуры и люминесцентных свойств протяженных дефектов в нитриде галлия», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.11. Физика полупроводников.

Нитрид галлия (GaN) - прямозонный полупроводник с шириной запрещенной зоны 3,4 эВ при 300 К, который эффективно используется в производстве светоизлучающих и силовых электронных приборов. К сожалению, на данный момент технология получения этого материала ограничена формированием гетероэпитаксиальных пленок на ориентирующих монокристаллических подложках (сапфир, карбид кремния) и сопровождается формированием дислокаций несоответствия и других протяженных ростовых дефектов. Дислокации теоретически представляют собой квазиодномерные электронные системы с пикообразным видом плотности состояний, что должно приводить к значительному увеличению вероятности оптических переходов между дислокационными состояниями. Экспериментальные результаты, полученные в последнее время, продемонстрировали это свойство и для введенных пластической деформацией  $a$ -винтовых дислокаций в гексагональных кристаллах нитрида галлия. В этом материале, однако, оказалось, что спектральный и поляризационный состав дислокационной люминесценции (ДЛ), температурный интервал устойчивости излучения сильно различаются в низкоомных и полуизолирующих кристаллах. В качестве возможных причин различий в свойствах ДЛ в литературе указывалось отличие особенностей атомного строения ядер дислокаций в этих образцах. Диссертационная работа **Шапенкова С.В.** посвящена исследованию люминесцентных свойств и атомной структуры ядер дислокаций в нитриде галлия и направлена на установление взаимосвязи между локальными особенностями кристаллической структуры протяженных дефектов, возникающих при пластической деформации нитрида галлия, и их электронными свойствами и, вне всякого сомнения, является **актуальной**.

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения и списка цитируемой литературы. Полное изложение диссертации на русском языке содержит 131 страницу, что включает 6 таблиц и 60 рисунков. Список процитированной литературы содержит 128 ссылок.

В работе получен целый ряд новых интересных результатов, определяющих **научную новизну и практическую ценность** диссертации, среди которых можно отметить:

- оригинальную методика получения тонких фольг образцов с дислокациями, введенными наноиндентированием в GaN;



- модель, объясняющая различие равновесной конфигурации ядра дислокаций в полярных материалах с различной концентрацией свободных носителей заряда;

- расщепление ядер  $\alpha$ -винтовых дислокаций на частичные в полуизолирующем нитриде галлия и установление происхождения трех полос люминесценции: расщепленных участков дислокаций, расширенных узлов и совершенных дислокаций.

**Обоснованность и достоверность** основных результатов и выводов диссертации **Шапенкова С.В.** обеспечиваются корректностью постановки задач работы, высоким уровнем используемой экспериментальной техники в сочетании с мощными спектроскопическими методиками, воспроизводимостью экспериментальных результатов и профессиональным применением современных научных концепций анализа экспериментальных данных.

Диссертация построена логично, изложена грамотным языком и хорошо иллюстрирована. По каждой главе и работе в целом сделаны четкие выводы. К сожалению, автору не удалось полностью избежать опечаток, чрезмерного увлечения аббревиатурами и неудачных формулировок.

Работа представляет собой **законченное исследование**, в ходе которого было установлено, что структурные особенности введенных дислокаций коррелируют со свойствами полос дислокационной люминесценции, ассоциируемых с ними, и был предложен механизм расщепления дислокаций в полярных материалах, который установил соотношение между этими явлениями в материалах с разной концентрацией свободных носителей.

При знакомстве с диссертационной работой возникли следующие вопросы и замечания:

1. Является ли метод КЛ неразрушающим при исследовании деформированного GaN, особенно в случае анализа на просвет, и есть ли экспериментальные результаты, позволяющие дать ответ на этот вопрос?

2. Каково реальное соотношение областей генерации люминесценции при используемых в работе режимах СПЭМ КЛ и СЭМ КЛ?

3. Какова спектральная ширина входной щели при измерениях в режимах СПЭМ КЛ и СЭМ КЛ в сопоставлении с шириной линий в таблице 3.1?

4. Хотелось бы увидеть на одном графике спектры СПЭМ КЛ и СЭМ КЛ, полученные с идентичных областей деформированного GaN.

5. На микрограммах просвечивающей электронной микроскопии, приведенных на рисунке 3.19, структура ядер дислокаций трудно различима, а пояснения в тексте недостаточно подробны для однозначной интерпретации представленных результатов.



6. Причина весьма интересного обнаруженного свойства - различия в интенсивности фоновых повторений люминесцентных полос совершенных и расщепленных дислокаций в диссертации, к сожалению, не обсуждается, и было бы желательным иметь хотя бы качественное объяснение его происхождения.

Сделанные выше замечания не снижают научной ценности работы и не влияют на общее положительное впечатление от диссертационной работы, которая выполнена на высоком теоретическом и экспериментальном уровнях. По актуальности темы, объему и достоверности представленных результатов, глубине и значимости выводов работа полностью соответствует уровню диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук.

Полученные автором результаты представлены в пяти статьях, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в базах данных РИНЦ, Web of Science и Scopus и многократно были им представлены и обсуждены на конференциях.

Диссертация **Шапенкова Севастьяна Владимировича** на тему: «Взаимосвязь атомной структуры и люминесцентных свойств протяженных дефектов в нитриде галлия» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель **Шапенков Севастьян Владимирович** заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.11. Физика полупроводников.

Член диссертационного совета  
доктор физико-математических наук, профессор,  
профессор с возложенными обязанностями  
заведующего кафедрой электроники твердого тела  
Санкт-Петербургского государственного университета



Барабан А.П.

09.11.2023



09.11.2023

